

ACTIVIDADES PARA LA ENSEÑANZA DE LOS CRISTALES Y MINERALES

Activities for to teaching crystals and minerals

Joaquim M. Nogués (*)

RESUMEN:

Se proponen una serie de ejercicios prácticos y experiencias de laboratorio para introducir la cristalografía y la mineralogía de una manera sencilla y al mismo tiempo mucho más eficaz. La resolución de los mismos permite conocer las propiedades fundamentales del medio cristalino y dar una visión completa de lo que es el estudio del estado sólido.

ABSTRACT:

We propose a set of practical exercises and the experiences of laboratory to introduce crystallography and mineralogy with a very easy and efficient system. The solving of these problems allows to know the most important properties of crystals and to obtain a very good and complete view of the solid state.

Palabras clave: *Cristalografía, mineralogía, crecimiento cristalino, propiedades ópticas.*

Keywords: *Crystallography, mineralogy, crystal growth, optical properties.*

INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista histórico, la Cristalografía se desarrolla como una Ciencia auxiliar de la mineralogía para explicar el origen, la naturaleza y las propiedades de los minerales. Una de las características destacadas, aunque no es la más importante, es la de poseer una forma geométrica determinada. Por ello, es lógico que durante mucho tiempo el objetivo fundamental de la cristalografía fuese el estudio de las formas de los cristales. A medida que se van descubriendo las distintas propiedades físicas, se intuye que la explicación de las mismas tiene su origen en la estructura interna de los minerales, y por tanto se enuncian las primeras hipótesis acerca de como es la organización interna de los cristales.

Algunas de estas hipótesis se ven confirmadas experimentalmente a principios de siglo, cuando se utilizan los rayos X para el estudio de los cristales. A partir de este momento el campo de estudio de la cristalografía se diversifica y pasa a ser una ciencia interdisciplinar con aplicación en ámbitos aparentemente tan distintos como la química, la biología, la metalurgia, etc. El hecho de que los minerales hayan sido los sujetos de estudio desde la antigüedad, se debe a que son sustancias sólidas formadas en el laboratorio natural que es la corteza terrestre, al cual el hombre tiene un fácil acceso. Debemos insistir en que la forma geométrica externa de los cristales, aunque es una de las características más conocida por el hombre, no es precisamente un carácter fundamental sino accesorio.

Durante muchos años, en la enseñanza secundaria, el estudio de la Cristalografía se ha realizado

únicamente en su aspecto morfológico, olvidando el aspecto fundamental que es el de poseer un orden interno a nivel microscópico, es decir una sustancia ordenada. Resumiendo, podemos decir que se ha tomado una parte por el todo. Para corregir este defecto se proponen una serie de ejercicios y actividades de laboratorio de carácter eminentemente práctico que pretenden conseguir una idea del cristal desde el punto de vista conceptual mucho más completa.

OBJETIVOS

Actualmente el ámbito de estudio de la Cristalografía es cualquier sustancia sólida de composición química orgánica o inorgánica, de origen natural o sintético y cuya estructura sea cristalina. Así pues los principales objetivos que queremos alcanzar con estas actividades son los siguientes:

1.- Poner de manifiesto el carácter interdisciplinar de la Cristalografía. El ámbito de estudio de esta Ciencia es cualquier sustancia sólida ya que la mayoría de los sólidos son cristalinos. No obstante como nuestro objeto de estudio es la Geología en general, los materiales con los cuales vamos a trabajar serán los minerales y las rocas.

2.- Deducir las propiedades esenciales del cristal y establecer el modelo ideal de referencia que es justamente el retículo cristalino. Este desarrollo es el estudio del cristal a nivel microscópico ya que deducimos su estructura interna.

3.- Dicho modelo nos permite explicar el comportamiento del cristal tanto a nivel microscópico como macroscópico, así como sus propiedades.

(*) Dpto. Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Geología. Universidad de Barcelona. c/ Martí i Franqués s/n. 08028-Barcelona. E-mail: jnagues@natura.geo.ub.es

También nos permite deducir las características fundamentales del medio cristalino. Constituye pues una visión global y completa desde un punto de vista conceptual.

4.- Comparar el modelo de la teoría reticular con otros modelos existentes en otras ramas de la Ciencia, como puede ser la teoría atómica en el ámbito de la Física-Química.

5.- Acercar el alumno al cristal real mediante las actividades de crecimiento cristalino, las cuales permiten poner de manifiesto la complejidad que significa obtener un buen cristal y al mismo tiempo comprender la diversidad de formas y tamaños que pueden presentar los cristales en la naturaleza.

6.- Las alteraciones a este modelo ideal de referencia nos permiten explicar los llamados defectos cristalinos, que influyen decisivamente en el carácter dinámico del cristal. Este es un aspecto importante ya que el comportamiento a nivel microscópico permite interpretar fenómenos que se producen a nivel macroscópico. Es evidente que en todas estas interpretaciones el factor tiempo es muy importante.

7.- Poner de manifiesto las propiedades físicas del cristal, con especial atención a las propiedades ópticas que se pueden observar con una serie de experiencias muy sencillas y que son de gran importancia en Mineralogía y Petrología.

DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

Para conseguir los objetivos citados anteriormente, se proponen una serie de actividades prácticas muy sencillas y cuyo coste económico es mínimo. Dichas actividades están estructuradas en tres bloques: en el primer bloque (A) se pretende que el alumno entienda que es un cristal.

En el segundo bloque (B) las actividades van dirigidas a comprender como crecen los cristales. En este apartado se destacan especialmente los factores que influyen en el crecimiento cristalino, así como las posibilidades que se presentan para realizar un trabajo en grupo con los alumnos.

Finalmente en el tercer bloque (C) las actividades están encaminadas a poner de manifiesto la interacción de la luz en los cristales, que es una de las propiedades físicas que más se utiliza en mineralogía, concretamente en el microscopio petrográfico.

BLOQUE A:

Un cristal es una sustancia sólida que puede ser de origen natural u obtenida artificialmente en el laboratorio. Los cristales poseen unas características propias que los distinguen de cualquier otra sustancia sólida. La característica más destacada a primera vista, es su forma externa. Los cristales normalmente constituidos presentan formas poliédricas con caras planas. Esto ya nos indica que cuando un cristal crece, no lo hace con la misma velocidad en todas las direcciones del espacio, ya que de ser así los cristales presentarían siempre forma esférica. Este comportamiento distinto en función de la di-

rección es lo que llamamos ANISOTROPIA, y es característico del cristal.

Si seguimos observando la forma cristalina, vemos como las caras se repiten un determinado número de veces, de acuerdo con unas reglas. Dichas repeticiones configuran el carácter SIMÉTRICO del cristal. Tomemos ahora un cristal que posea buena exfoliación, por ejemplo un cristal de halita (NaCl). Dicho cristal presenta una forma cúbica y conforme se va exfoliando vamos obteniendo cada vez cristales más pequeños y de la misma forma. Esto nos indica de algún modo una repetición o PERIODICIDAD en la estructura. Finalmente, si nos fijamos en todos los cristales obtenidos por exfoliación en el apartado anterior, vemos que presentan el mismo aspecto y no se aprecian diferencias entre ellos, a excepción del tamaño. Por tanto vemos como en la distribución de los elementos que forman el cristal, existe en primera aproximación una HOMOGENEIDAD.

Para que el alumno pueda comprobar por sí mismo todas estas propiedades, tomemos un dibujo bidimensional repetitivo en el que puedan apreciarse relaciones de simetría. En la figura 1, vemos un dibujo de estas características realizado por el pintor M.C. Escher, y cuyo aspecto destacado es un conjunto de elementos que se van repitiendo. Los elementos que se repiten son diversos, y podemos tomar uno cualquiera como punto de referencia. Colocamos a continuación un papel vegetal superpuesto al dibujo, y de esta manera podemos marcar sobre dicho papel todos los símbolos que sean necesarios. Para empezar tomaremos un punto de referencia que puede ser cualquier elemento del dibujo, y lo marcamos con un círculo en el papel vegetal. A continuación señalamos el resto de los puntos de referencia con la condición de que los elementos escogidos sean idénticos al elemento inicial en cuanto a la forma y la orientación. Así por ejemplo, si en la figura 1 tomamos como elemento de referencia la cabeza del asno que mira hacia la derecha, el resto de los puntos equivalentes serán todas las cabezas de asno que miran a la derecha. Todos estos puntos de referencia son puntos ideales y los denominamos NUDOS RETICULARES.

Entre dos nudos reticulares consecutivos definimos un vector en una dirección, con un sentido (derecha o izquierda) y de una determinada longitud (el módulo del vector). En esta dirección y sentido el vector traslación nos origina una infinidad de nudos reticulares igualmente espaciados que nos define la llamada FILA RETICULAR. Si repetimos la operación en el sentido vertical del dibujo de la figura 1, obtendremos una segunda fila reticular. Las dos filas reticulares y sus correspondientes paralelas nos definen el PLANO RETICULAR. Dentro del plano reticular tenemos una infinidad de nudos. Si nos fijamos en la superficie delimitada por los cuatro nudos reticulares A,B,C y D de la figura 2, vemos que definen una forma determinada (rectángulo, cuadrado, rombo, etc.) y que está limitada por dos vectores de traslación AB y AC, a los cuales les llamamos vectores de traslación fundamentales y son los más pequeños.



Figura 1. Conjunto bidimensional repetitivo. De un dibujo de M.C. Escher.

El área delimitada por el polígono en la figura 2 la llamamos CELDA FUNDAMENTAL. En este dibujo podemos encontrar una infinidad. Dentro de la zona definida por la celda fundamental queda recortada una parte del dibujo, éste es el contenido de dicha celda. Una vez conocida la celda fundamental y su contenido conocemos la pieza básica de cualquier sustancia cristalina, ya que por repetición sucesiva de estas celdas de modo que queden encajadas entre sí y sin dejar huecos, el conjunto de todas ellas me genera el dibujo en su totalidad. Aplicando estos conceptos al espacio tridimensional se generan los retículos tridimensionales como los retículos de Bravais. En este caso la facilidad del espacio bidimensional permite una mayor comprensión por parte del alumno.

Si todos estos elementos los hemos dibujado sobre el papel vegetal, ahora si levantamos el papel separamos físicamente los elementos ideales del cristal (nudo, fila reticular, plano reticular y celda fundamental) del contenido real del cristal que aquí está representado por lo que hay en el dibujo. De este modo visualizamos la dualidad de los elementos que constituyen el cristal, de una parte los ideales que permiten estudiar y clasificar los diversos tipos de cristales y de otra parte los elementos reales que en un cristal son los átomos, iones o moléculas.

Para completar este estudio del cristal, se recomienda la construcción de algún modelo sencillo de estructura cristalina con la finalidad de introducir al alumno en el espacio tridimensional.

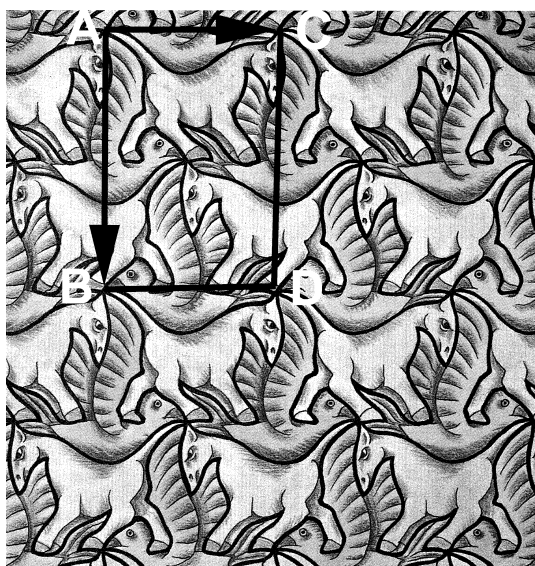


Figura 2. El mismo conjunto bidimensional de la figura anterior, en el que se han marcado los nudos reticulares y la celda fundamental.

La figura 3, muestra el dibujo de la estructura del cloruro sódico (NaCl) que se puede construir fácilmente con bolas de distinto tamaño. Dichos modelos permiten comentar algunas de las características físicas y químicas del cristal, como por ejemplo:

- Contenido de la celda fundamental.
- Relación estequiométrica entre los componentes de dicha celda.
- Relación entre el volumen de la celda y el espacio ocupado por las partículas integrantes del cristal.
- Cálculo de la densidad de un compuesto.
- Explicación de alguna propiedad física con la ayuda del modelo, por ejemplo la exfoliación.

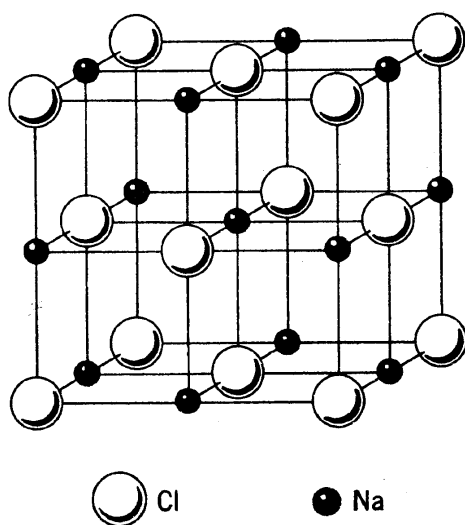


Figura 3. Modelo de bolas que reproduce la estructura cristalina del NaCl.

En la misma línea y para facilitar la comprensión del cristal tridimensional, se pueden utilizar los modelos de madera o cartulina que reproducen las formas poliédricas de los cristales, con el objetivo de que los alumnos aprendan a descubrir los elementos de simetría. Nunca debe realizarse este ejercicio para aprender de memoria los nombres de las formas cristalinas.

Finalmente para terminar este bloque y como una práctica complementaria se sugiere la preparación de una colección de materiales dividida en dos partes. En la primera se muestra un conjunto de ejemplares de una misma sustancia pero que presentan distinto grado de desarrollo. Se recomiendan los siguientes ejemplares: un romboedro de espato de Islandia (calcita transparente e incolora), un romboedro de calcita translúcido, una drusa de cristales de calcita, un trozo de mármol y un fragmento de caliza de grano fino. Esto muestra al alumno la variabilidad de formas cristalinas y el grado de desarrollo que puede presentar una misma sustancia. Sirve también para poner de manifiesto el carácter universal de la materia cristalina. En la segunda parte se muestra un conjunto de cristales bien desarrollados y de la misma forma. Se recomienda el cuarzo en sus distintas variedades: cristal de roca (cuarzo transparente), cuarzo lechoso, cuarzo amatista, cuarzo ahumado, cuarzo citrino y jacinto de compostela. Todos ellos poseen la misma forma, no obstante el interior del cristal presenta variaciones de color y de grado de transparencia. Ello nos permite introducir la idea del cristal real con sus imperfecciones.

BLOQUE B:

Para que un cristal pueda crecer libremente y podamos obtener un ejemplar lo más perfecto posible se necesitan tres condiciones: tiempo, espacio y reposo. Es difícil que en la naturaleza se den las tres condiciones al mismo tiempo y por ello los cristales que encontramos son imperfectos. Para conseguir buenos ejemplares de cristales, lo mejor es reproducir en el laboratorio, un método análogo al que se produce en la corteza terrestre. De este modo se pueden controlar todos los factores que intervienen en el crecimiento cristalino y al final se obtiene un producto de calidad apto para su uso en la industria. Este bloque de actividades prácticas es muy importante ya que acerca al alumno a una realidad sin la cual muchos de los avances tecnológicos que hoy conocemos no serían posibles. Es gracias a la obtención de los cristales sintéticos que la industria óptica y electrónica han podido dar un paso de gigante en la segunda mitad del siglo XX.

De los distintos métodos para obtener cristales se proponen aquellos en que su obtención se realiza a partir de una solución, ello implica utilizar sustancias solubles en agua y aunque esto nos impide tener una visión más completa del crecimiento cristalino en general, tiene la ventaja de su sencillez y facilidad de manejo por parte de los alumnos, aspecto importante cuando en la mayoría de los centros debe trabajarse con grupos numerosos. Al ini-

ciar las actividades prácticas debemos introducir o repasar con los alumnos los conceptos de solución no saturada, saturada y sobresaturada, así como el concepto de producto de solubilidad.

En el primer método el recipiente cristizador está abierto y el proceso tiene lugar por evaporación del líquido, de este modo la disminución continua del volumen de la solución provoca que el exceso de sólido se vaya precipitando sobre el germen cristalino que es el pequeño cristal a partir del cual se formará uno de mayor tamaño. El inconveniente de este método, es que debemos mantener la temperatura elevada y una gran superficie para facilitar el proceso de evaporación. Al aumentar la superficie el riesgo de entrada de impurezas aumenta, con lo cual disminuye la posibilidad de obtener buenos cristales. Dicho método es útil para sustancias cuyo producto de solubilidad varía muy poco con la temperatura.

En el segundo método la solución saturada se calienta al baño maría para poder añadir más soluto, ya que en general para la mayoría de sustancias el producto de solubilidad aumenta con la temperatura. Una vez sobresaturada la solución se cuelga el germen cristalino y se deja enfriar lentamente. Este método permite un control más eficaz, es más rápido y en general los resultados obtenidos son muy buenos. Más detalles acerca de estos métodos así como ejemplos de sustancias con las cuales podemos trabajar, los podemos encontrar en el libro de Holden, A. et al. (1960). Este libro es un clásico en el campo del crecimiento cristalino y está dirigido especialmente a los estudiantes de escuela secundaria. A pesar de su antigüedad sigue siendo perfectamente válido. En la primera parte del libro hay unos capítulos de introducción a la Cristalografía que son también muy útiles.

En cuanto al material necesario necesaria para poder realizar las experiencias en el laboratorio es muy simple y económica siguiendo la misma idea indicada en el bloque anterior. Uno de los aspectos más interesantes de estas prácticas de crecimiento cristalino, es la posibilidad de realizar el trabajo en equipo. De este modo se pueden comparar los resultados obtenidos por los distintos grupos de alumnos para obtener una misma sustancia. Las posibilidades son diversas pero lo más importante es aprender a trabajar en equipo, poniendo en común cada uno de ellos sus mejores aptitudes para obtener un mismo objetivo. Los contenidos que se trabajan son los siguientes:

- De procedimiento: habilidades prácticas y técnicas, procesos cognoscitivos generales (observar, emitir hipótesis, etc.), estrategias de investigación (identificar y controlar variables, repetir medidas, etc.), habilidades de comunicación (seleccionar información relevante y saber comunicarla).
- De hechos y conceptos: el medio cristalino, la problemática de la formación y el crecimiento de los cristales, el cristal real.

- De actitudes: conseguir una actitud más entusiasta en el estudio de los cristales, ya que de entrada es un tema árido que provoca rechazo.

BLOQUE C:

En el tercer bloque de prácticas introducimos al alumno en el conocimiento de las propiedades ópticas de los cristales. Dichas propiedades son de gran utilidad para el geólogo en el estudio de las características ópticas de los minerales, y para poder realizar este trabajo el geólogo utiliza el microscopio petrográfico. No obstante dicho microscopio es muy caro y pocos centros docentes lo poseen, por esta razón se sugiere utilizar como alternativa el denominado polariscopio.

El polariscopio es un equipo muy sencillo que nos permite reproducir con la misma precisión los fenómenos ópticos que podemos ver en el microscopio petrográfico. Básicamente consiste en dos filtros polarizadores como los que se utilizan en fotografía para eliminar reflejos, los cuales se pueden montar en un soporte vertical de modo que queden superpuestos uno encima del otro, y dejando entre ellos espacio suficiente para poder colocar las preparaciones. En la parte inferior debe colocarse una bombilla de bajo voltaje (10 v) que se conecta directamente a la red y que constituye el sistema de iluminación. La construcción del equipo es muy sencilla y viene detallada en el trabajo de Correig, T.Mª. et al (1988)¹. Con este equipo tenemos los elementos esenciales que caracterizan al microscopio petrográfico, esto es el polarizador y el analizador, y lo único que nos falta es la parte óptica para aumentar la imagen. Para soslayar este inconveniente se utilizan unas preparaciones especiales que se pueden observar a simple vista y sin necesidad de lentes de aumento. Una colección de estas preparaciones se describe con detalle en el trabajo de Correig, T.Mª. et al (1988) que se ha citado anteriormente. En dicho trabajo las preparaciones están descritas en orden creciente de complejidad, para que el alumno pueda comprender los fenómenos ópticos que se producen. En total hay quince preparaciones. Al utilizar el polariscopio para analizar ópticamente los cristales no hacemos otra cosa que trabajar con un modelo simplificado del microscopio petrográfico. Los conceptos que se trabajan son:

- Casi todos los cristales son ópticamente anisótropos, excepto los cristales de simetría cúbica, y por ello presentan doble refracción o birrefringencia.
- Esta birrefringencia se pone de manifiesto con los cristales de calcita (CaCO_3) en que el fenómeno se presenta de modo muy exagerado y puede observarse a simple vista a través de la doble imagen. La generalización de este fenómeno es que la luz al pasar a través de los cristales queda polarizada. De hecho los cristales

(1) Nota del editor: Este trabajo también puede consultarse en el CD recopilatorio de las actas de los Simposios sobre Enseñanza de la Geología

se pueden utilizar como polarizadores, basta recordar las antiguas pinzas de turmalina o la calcita al utilizar el prisma de Nicol.

- Al observar un cristal a través de polarizadores cruzados, vemos un color llamado color de interferencia. Al girar el cristal en una vuelta completa de 360° vemos cuatro posiciones de extinción (es decir no pasa la luz) y cuatro posiciones de iluminación en las que se ve el citado color de interferencia.
- El color de interferencia depende fundamentalmente de tres factores: a) del grosor de la lámina cristalina, b) de la birrefringencia del cristal, c) de la situación de las direcciones de vibración del cristal en relación a las direcciones de vibración de los polarizadores.

CONCLUSIONES

Tal como se desprende de la introducción y de los ejercicios y prácticas de laboratorio que se proponen, se trata de abrir las puertas al conocimiento del estado sólido, una parte del cual es el objetivo del geólogo al estudiar los minerales y las rocas.

Se da una visión completa de lo que es un cristal y se justifican sus propiedades a partir del modelo ideal de referencia. Este enfoque es mucho más completo que el simple estudio de las formas cristalinas. Ello no invalida el estudio de las formas cristalinas como método para la mejor comprensión del alumno, pero nunca como un objetivo en si mismo.

Teniendo en cuenta la reforma que se ha realizado en la enseñanza secundaria obligatoria, creemos que este cambio de orientación tiene todavía mayor sentido, ya que permite la interrelación con otras materias como la Física y la Química dando una visión global y menos compartimentada.

Las prácticas de laboratorio permiten que el alumno participe en un trabajo de grupo, lo cual le introduce en la problemática que plantea la investigación. Este es también un aspecto muy importante en la formación de los alumnos. Finalmente dicho enfoque favorece un proyecto de ciencia integrada, con una visión amplia y una carga conceptual clara y bien delimitada en detrimento de conocimientos parciales.

BIBLIOGRAFÍA

Amorós, J.L. (1978): *La gran aventura del cristal*. Editorial de la Universidad Complutense. Madrid.

Correig, T.M. y Nogués, J.M. (1988): Aplicaciones didácticas del polariscopio. *Henares, Rev. Geol.*, 2, 355-360.

Coxeter, H.S.M. et al. (1986): *M.C. Escher Art and Science*. Elsevier Science Publishers. Amsterdam.

Hammond, C. (1990): *Introduction to Crystallography*. Oxford University Press. Royal Microscopical Society.

Hargittai, I. and Hargittai, M. (1986): *Symmetry through the eyes of a chemist*. V.C.H. Verlagsgesellschaft. Germany.

Holden, A. and Singer, P. (1960): *Crystals and crystal growing*. Anchor Books. New York.

Mac Gillavry, C.H. (1965): *Symmetry aspects of M.C. Escher's periodic drawings*. University of Amsterdam. Published for International Union of Crystallography. Utrecht.

Weyl, H. (1975): *La simetría*. Princeton University Press. Ediciones de Promoción Cultural S.A. Barcelona.

Windle, A. (1977): *A first course in Crystallography*. Bell and Sons Ltd. Edinburgh. ■